

**Beschreibung**

Verfahren zur Zylindergleichstellung bezüglich der Kraftstoff-Einspritzmengen bei einer Brennkraftmaschine

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Gleichstellung der Unterschiede in der Einspritzmenge zwischen den Zylindern einer Brennkraftmaschine, bei dem die Einspritzmengenunterschiede, die an einem Betriebspunkt im unteren Drehzahlbereich bei den dort im regulären Fahrbetrieb geltenden Einspritzparameterwerten vorliegen, mittels einer zylinderindividuellen Messmethode zur Erfassung der Laufunruhe der Brennkraftmaschine bestimmt und, dem niedrigen Betriebspunkt zugeordnet, gelernt werden, und bei dem für Betriebsbereiche mit höheren Lasten und Drehzahlen für einen gewählten Einspritzparameter eine Adaption der Einspritzmengenunterschiede durchgeführt wird.

10

15

20

Ein derartiges Verfahren ist bereits aus der DE 197 00 711 A1 bekannt.

25

Bei einer mehrzylindrigen Brennkraftmaschine ergibt sich bei der Einspritzung von Kraftstoff in die Verbrennungsräume durch Streuungen insbesondere der mechanischen Eigenschaften der Einspritzvorrichtung, beispielsweise der Injektoren für Dieselmotoren mit Common Rail, ein systematischer Fehler. Auf Grund von Fertigungstoleranzen der genannten Komponenten und unterschiedlicher Abnutzung (Alterungerscheinungen) werden bei gleicher Einspritzzeitdauer und ansonsten identischen Randbedingungen unterschiedliche Kraftstoffmengen der Verbrennung in den einzelnen Zylindern zugeführt. Die unterschiedlichen Kraftstoffmengen führen zu einer unterschiedlichen Leistungsabgabe der einzelnen Zylinder, was neben einer

Steigerung der Laufunruhe auch zu einer Erhöhung der Menge an schädlichen Abgaskomponenten führt.

Es ist bekannt, die Laufunruhe einer Brennkraftmaschine auszuwerten, um daraus Rückschlüsse auf die Einspritzmenge in den verschiedenen Brennräumen zu ziehen. Hierzu wird z. B. mit einem Drehzahlsensor die Drehbeschleunigung der Kurbelwelle gemessen, wobei die Drehbeschleunigung von der jeweiligen Einspritzmenge abhängt. So verursacht eine große Einspritzmenge in dem betroffenen Verbrennungstakt eine entsprechend große Drehbeschleunigung der Kurbelwelle, wohingegen eine kleine Einspritzmenge nur zu einer entsprechend kleineren Drehbeschleunigung führt. Dieser Laufunruhe wird bei bekannten Brennkraftmaschinen dadurch entgegengewirkt, dass die Einspritzmengen in den einzelnen Brennräumen durch eine geeignete Ansteuerung der verschiedenen Injektoren aneinander angeglichen werden. Die Steuersignale für die verschiedenen Injektoren werden hierbei solange verändert, bis alle Zylinder den gleichen Beitrag zum Drehmoment leisten, was auf eine einheitliche Einspritzmenge in den verschiedenen Brennräumen schließen lässt.

Diese bekannte Laufunruhe-Regelung zur Zylindergleichstellung bezüglich der Einspritzmengen ist in der Anwendung auf niedrige Lastpunkte unter stationären Betriebsbedingungen, beispielsweise Leerlauf, beschränkt. Ein Abbremsen oder Beschleunigen, wie es in höheren Betriebsbereichen typischerweise vorkommt, könnte vom Drehzahlsensor an der Kurbelwelle fälschlicherweise als Einspritzmengenunterschied interpretiert werden.

Die Beschränkung auf einen niedrigen Betriebspunkt zur Ermittlung der Einspritzmengenunterschiede ist jedoch problema-

tisch, da diese mit mindestens einem der Einspritzparameter, z. B. Einspritzdruck und Einspritzzeitdauer, variieren. Die bei einem niedrigen Betriebspunkt ermittelten Einspritzmengenunterschiede können demnach nicht zur Gleichstellung im gesamten Betriebsbereich, z. B. als globale Korrekturfaktoren für einen Ansteuerparameter der Injektoren, verwendet werden, sondern müssen an die bei höheren Betriebspunkten geltenden Einspritzparameter adaptiert werden, was jedoch wegen der erwähnten Voraussetzung stationärer Betriebsbedingungen für die Laufunruhe-Regelung nicht ohne weiteres möglich ist.

In der oben genannten DE 197 00 711 A1, bei der die Einspritzzeitdauer mit zylinderindividuellen Korrekturfaktoren zur Zylinder gleichstellung bezüglich der Einspritzmenge beaufschlagt wird, wird vorgeschlagen, die bei einem niedrigen Betriebspunkt bestimmten Korrekturfaktoren durch einen von den Einspritzparametern Druck und Einspritzzeitdauer abhängigen Adoptionsfaktor  $f(p,t)$  an höhere Betriebsbereiche anzupassen. Die Werte dieses Adoptionsfaktors sollen in einem Kennfeld abgelegt sein und diesem zur Adaption der Korrekturfaktoren im Fahrbetrieb entnommen werden. Das bekannte Verfahren vermeidet zwar eine Adaption bei instationären Betriebsbedingungen, jedoch nur mit Hilfe eines vorgegebenen Kennfeldes, dessen Werte den real vorliegenden, mit der Lebensdauer des Fahrzeugs veränderlichen Abhängigkeitsverhältnissen der Einspritzmengenunterschiede nicht optimal gerecht werden können.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, ein Verfahren der eingangs genannten Art anzugeben, das es erlaubt, den tatsächlichen, einspritzparameterabhängigen systematischen Fehler bezüglich der Einspritzmengen im Hinblick auf eine Zylinder gleichstellung auf einfache Weise zu ermitteln.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die Merkmale des Patentanspruches 1 gelöst. Die abhängigen Ansprüche betreffen vorteilhafte Weiterbildungen und Ausgestaltungen der Erfindung.

Erfindungsgemäß wird bei einem gattungsgemäßen Verfahren in dem niedrigen Betriebspunkt der gewählte Einspritzparameter zur Adaption auf einen Wert eingestellt, der vom dort im regulären Fahrbetrieb geltenden Wert abweicht. Unter dem regulären Fahrbetrieb ist zu verstehen, dass z.B. bei niedrigen Lasten entsprechende niedrige Einspritzdrücke anliegen. Dagegen wird vom regulären Fahrbetrieb abgewichen, wenn z.B. bei niedrigen Lasten hohe Einspritzdrücke anliegen. Dann können für diesen eingestellten Einspritzparameterwert die Einspritzmengenunterschiede mittels der Messung der Laufunruhe bestimmt und als dem jeweiligen Einspritzparameterwert zugeordnete Adoptionswerte gelernt werden. Während dieser Adaption ist darauf zu achten, dass die Dynamik des mit dem jeweils eingestellten Einspritzparameterwert veränderlichen Betriebspunktes begrenzt wird, da sich ein veränderter Einspritzparameterwert sonst in einer vom Fahrer des Fahrzeugs nicht initiierten Abbremsung oder Beschleunigung, jedenfalls in einem neuen Betriebspunkt, also nicht stationären Bedingungen während der Adaption, äußern würde.

Besonders bevorzugt wird eine Ausführungsform des Verfahrens, bei der zur Begrenzung der Dynamik des niedrigen Betriebspunktes während der Adaption mindestens ein zweiter Einspritzparameter derart eingestellt wird, dass der Betriebspunkt wenigstens näherungsweise stationär bleibt. Dies lässt sich vorteilhaft dadurch erreichen, dass bei der Adaption an aufeinander folgend höhere Werte des als Einspritzparameter

gewählten Einspritzdruckes zur Begrenzung der Dynamik des niedrigen Betriebspunktes jeweils eine entsprechend kürzere Einspritzzeitdauer eingestellt wird. Die zweiten bzw. weiteren Einspritzparameter werden hier also als Hilfsgrößen derart gesteuert, dass der Fahrer vom Adoptionsprozess nichts bemerkt. Da einige wenige Kolbenhübe zur Adaption ausreichend sind, kann die Motorsteuerung ohne weiteres auch so eingestellt werden, dass der Fahrer die stationären Bedingungen während der kritischen Adoptionsphase nicht, oder nur bei Überschreitung einer Schwelle beim vom Fahrer über das Gas angeforderten Wunschleistung, aufheben kann.

Bei allen Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens ergibt sich der Vorteil, dass für die Adaption ein niedriger Betriebspunkt auswählbar ist, bei dem die höchste Empfindlichkeit und/oder Zuverlässigkeit der Messung der Laufunruhe erreicht wird, obwohl dabei eine korrekte Adaption für hohe Betriebsbereiche vorgenommen wird. Insbesondere kann der niedrige Betriebspunkt im Leerlaufbereich gewählt werden.

Die gelernten Adoptionswerte dienen zur Berechnung von zylinderindividuellen Korrekturfaktoren, mit denen, im Regelfall im Rahmen der Laufunruhe-Regelung während des Adoptionsprozesses und im Fahrbetrieb, ein Ansteuerparameter einer Einspritzvorrichtung der Brennkraftmaschine derart beaufschlagt wird, dass eine Gleichstellung der Einspritzmengen erfolgt.

Als vorteilhaft hat sich dabei herausgestellt, dass die Einspritzvorrichtung für jeden Zylinder durch einen Injektor mit piezoelektrischem Aktor gebildet wird, wobei als Ansteuerparameter die Ansteuerenergie der Aktoren herangezogen wird. Es kann also insbesondere für verschiedene Werte des Einspritz-

druckes eine Adaption des zur Gleichstellung notwendigen Ak-  
torhubs durchgeführt werden.

Zur Erfassung der Laufunruhe der Brennkraftmaschine kann die  
5 von den zylinderindividuell unterschiedlichen Einspritzmengen  
verursachte Drehbeschleunigung der Kurbelwelle der Brenn-  
kraftmaschine ausgewertet werden. Die Bestimmung der adap-  
tierten Einspritzmengenunterschiede bzw. der adaptierten Kor-  
rekturfaktoren zur Gleichstellung kann somit auf eine sehr  
10 genaue Messmethodik gestützt werden.

Das erfindungsgemäße Verfahren eröffnet außerdem die Möglich-  
keit, dass am zur Adaption eingestellten stationären Be-  
triebspunkt bei gleichgestellten Einspritzmengen aus einem  
15 gespeicherten Drehmomentenmodell der Brennkraftmaschine der  
Absolutwert der zugehörigen Einspritzmenge ermittelt wird.  
Eine Diagnose des Absolutwertes der Einspritzmenge ist gerade  
für die Diagnose kleiner Einspritzmengen, insbesondere von  
Voreinspritzmengen, die im Bereich von wenigen Milligramm  
20 liegen, entscheidend für die Einhaltung der Grenzen der Ab-  
gas-Emissionen.

Die Erfindung wird im Folgenden anhand der schematischen  
Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

25

Figur 1 ein Flussdiagramm zur Durchführung der erfindungsge-  
mäßen Einspritzmengengleichstellung,

30

Figur 2 ein Flussdiagramm zur Durchführung der bevorzugten  
Einspritzmengengleichstellung mittels Ladungszeit-  
adaption.

Nach Start 1 der Einspritzmengengleichstellung ist im nächs-  
ten Schritt eine Initialisierungsphase 2 vorgesehen, in der

die in einem früheren Diagnosezyklus abgespeicherten Adaptionswerte in ein (nicht dargestelltes) Motorsteuerungsgerät geladen werden. Die Initialisierung eines neuen Diagnosezyklus kann sowohl nach jedem Startvorgang der Brennkraftmaschine, als auch nach bestimmten, vorgebbaren Zeit- oder Wartungsintervallen erfolgen.

Nach dem Ende der Initialisierung 2 erfolgt in einem passiven Diagnoseschritt 3 die Überprüfung der Aktivierungsbedingungen. Dabei geht es darum, abzuwarten bis bevorzugte Betriebsbedingungen für die Adaption an einen regulären oder davon abweichenden Einspritzparameterwert erreicht sind. Dazu gehören beispielsweise die Last, die Drehzahl oder die Kühlmitteltemperatur. Dabei muss die Motorsteuerung gegebenenfalls so umgestellt werden, dass bei der nachfolgenden Adaption die Dynamik der zeitlichen Veränderung des zur Durchführung des Adaptionszyklus ausgesuchten Betriebspunktes begrenzt wird.

Sobald die Aktivierungsbedingungen erfüllt sind, wird der eigentliche, aktive Diagnosezyklus 4 gestartet. Mit den dem Motorbetriebszustand zugehörigen, regulären Einspritzparametern 5 (vgl. Einspritzparametersatz in der Figur 1) wird zunächst eine Laufunruhe-Regelung 6 durchgeführt. Als Ergebnis sind die Einspritzmengen der einzelnen Injektoren der Brennkraftmaschine in dem bevorzugten, niedrigen Betriebspunkt aneinander angeglichen. Zum anderen ist an dieser Stelle des Ablaufs auch die zusätzliche Auswertungsmöglichkeit gegeben, dass am bevorzugten, niedrigen Betriebspunkt mit den vorgegebenen regulären Einspritzparameterwerten auf eine aus dem Drehmomentenmodell bekannte Einspritzmenge geschlossen wird, die gemäß dem erzielten Drehmoment gegeben sein muss.

Danach, im Schritt 7 (Adaption der Ansteuerparameter) werden weitere Einspritzparameter bzw. Einspritzparametersätze i geladen und dafür jeweils die Laufunruhe-Regelung durchgeführt mit einer Bestimmung der am eingestellten Wert des gewählten  
5 Einspritzparameters vorliegenden Einspritzmengenunterschiede bzw. mit der Gleichstellung durch entsprechende Korrekturfaktoren für einen Ansteuerparameter. Zur Adaption wird ein geeigneter Ansteuerparameter, wie beispielsweise die den Aktoren zugeführte Energie ausgewählt. Die resultierenden Adaptionswerte werden dem Einspritzparametersatz, also primär den  
10 Einspritzparametern, wie z.B. Einspritzdruck und Einspritzzeitdauer dessen Einfluss auf die Einspritzmengenunterschiede festgehalten werden soll, zugeordnet und abgespeichert, damit sie später, beim Fahrbetrieb mit höheren Lasten und Drehzahlen und den zugehörigen regulären Werten des gewählten Einspritzparameters, zur direkten Einspritzmengengleichstellung ohne Diagnosezyklus abgerufen werden können. Wenn die Adaption  
15 für genügend viele Stützstellen (typischerweise fünf bis zehn), also beispielsweise für alle  $i=1$  bis  $i=k$  eingestellten  
20 Einspritzparameterwerte des Druckes durchgeführt wurde, ist das Ende 8 der Adaption bzw. des laufenden Diagnosezyklus erreicht und die gespeicherten Adaptionswerte können im Fahrbetrieb zur Gleichstellung der Einspritzmengen verwendet werden.

25

Es hat sich herausgestellt, dass die von der Einspritzzeitdauer abhängigen unterschiedlichen Einspritzmengen von Injektoren auf einfache Weise dadurch einander angeglichen werden können, dass der Hub der Aktoren verändert wird. Das bedeutet  
30 beispielsweise, dass für verschiedene als Einspritzparameterwerte gewählte Einspritzdrücke eine Adaption des Aktorhubs durchgeführt wird. Andererseits kann die als Injektor-

Stellgröße eingesetzte Ansteuerenergie natürlich auch zur Variation des Einspritzbeginns herangezogen werden.

Bei jedem Diagnosezyklus werden die zuletzt gespeicherten  
5 Adoptionswerte bzw. Korrekturfaktoren von den neu ermittelten überschrieben, wodurch insbesondere die zwischenzeitlich aufgetretenen Alterungserscheinungen der Einspritzvorrichtung, die eventuell zu veränderten Streuungen bezüglich der Einspritzmengen in die verschiedenen Brennräume führen, Berücksichtigung finden.  
10

Das in Figur 2 dargestellte Verfahren führt in Schritt 11 eine Initialisierung durch. Dabei werden die abgespeicherten Adoptionswerte geladen. In Schritt 12 wird überprüft, ob die  
15 Aktivierungsbedingungen erfüllt sind. Darunter ist zu verstehen, ob konstante Betriebsbedingungen vorhanden sind, wie z.B. konstante Last, konstante Drehzahl, konstante Temperatur des Kühlmittels, etc. So bleibt die Diagnose wie in Schritt 13 gezeigt so lange passiv, bis in Schritt 12 die Aktivierungsbedingungen erfüllt sind. Dann geht es im Schritt 14 weiter, indem die Einspritzparameter für eine Anfangslade/Entladezeit geladen werden. So kann beispielsweise die Anfangslade/Entladezeit auf 200 µs gesetzt werden. Zu den Einspritzparametern gehören der Einspritzdruck, Injektorenergie,  
25 Art der Einspritzung, darunter ist zu verstehen, ob es sich um eine Vor-, Haupt-, Nacheinspritzung handelt. Sind diese Parameter einmal geladen, so geht es zur Laufunruheregelung im Schritt 15 weiter. Die Laufunruheregelung erfolgt zylinderselektiv, d.h., dass z.B. für ein Vierzylindermotor zuerst  
30 der Zylinder Nr.1 geregelt wird. Sind die Einspritzparameter für den Injektor des Zylinders Nr. 1 eingestellt, so folgt der Injektor des zweiten Zylinders. Die Regelung kann die Lade/Entladezeit, den Einspritzdruck, die Ansteuerungsenergie,

und die Art der Einspritzung einstellen. Im speziellen kann die Regelung bei einer definierten (festen) Ansteuerdauer (Einspritzzeitdauer) und definiertem (festen) Einspritzdruck durchgeführt werden, wobei die Aktorenergie entsprechend angepasst wird. Bei einem Raildruck von beispielsweise 1500 bar und einer Einspritzmenge von 0,84 mg müssen Ansteuerzeiten von weniger als 160 µs realisiert werden.

Im Schritt 16 wird überprüft ob mit diesen Größen die Laufunruhe unter einem Schwellenwert S liegt. Ist dies nicht der Fall, so muss in Schritt 17 zusätzlich die Ansteuerdauer verändert werden. Dies ist insbesondere bei "schlecht" gefertigten Injektoren erforderlich, die diese kurzen Lade/Entladezeiten schlecht bzw. nicht verkraften. Bei solchen Injektoren und kurzen Entladezeiten ist die eingespritzte Kraftstoffmenge unabhängig von der Aktorenergie. Es stellt sich eine Art "Mengensättigung" ein und die Einspritzmenge kann nicht mehr durch Erhöhen der Aktorenergie verändert werden. Dies bedeutet, dass eine Einspritzadaption in einem definierten Betriebszustand nicht alleine durch Energieanpassung, sondern mittels einer Verlängerung der Ansteuerdauer durchgeführt werden muss, die damit die Einspritzzeitdauer verlängert.

Als Ergebnis einer erfolgreichen Laufunruheregelung nach Schritt 16 sind die Einspritzmengen der einzelnen Injektoren aufeinander angeglichen. Diese Einspritzparameter werden für die zugehörige Lade/Entladezeit  $\tau_i$  abgespeichert (Schritt 18). In Schritt 19, wird überprüft ob die Lade/Entladezeit  $\tau_i$  größer gleich als einem Extremwert ist. Hier beträgt der Extremwert beispielsweise 140 µs. In dem obigen Beispiel liegt der Anfangswert  $\tau_0$  bei 200 µs. Anzumerken ist, dass der Index i hier gleich Null ist. Da die in Schritt 19 aufgestellte Be-

dingung nicht erfüllt ist, geht es in Schritt 20 weiter. Vor dem Laden des nächsten Parametersatzes in Schritt 14 wird zuvor in Schritt 20 die Lade/Entladezeit um 10  $\mu$ s verringert. Somit beträgt jetzt die Lade/Entladezeit  $\tau_1$  gleich 190  $\mu$ s. In 5 Schritt 21 wird lediglich der Index um 1 erhöht. Die vorhandenen Einspritzparameter für  $\tau_1$  werden nun in Schritt 14 geladen. Wie bereits oben beschrieben folgen dann die Schritte 15 bis 19. Sind alle Parametersätze für die verschiedenen La- 10 de/Entladezeiten angepasst, kann der konstante Einspritzdruck (z.B. 1500 bar) auf einen neuen anderen konstanten Einspritz- druck (z.B 1400 bar) eingestellt werden. Sobald in Schritt 12 der neue Druck anliegt, wird für jede Lade/Entladezeit von 200 bis 140  $\mu$ s die Aktorenergie nach den Schritten 14 bis 19 bestimmt. Dies kann für verschiedene Druckwerte durchgeführt 15 werden. Sobald ausreichend viele Messwerte vorhanden sind, endet das Verfahren in Schritt 22. Anzumerken ist, dass die schrittweise Änderung der Lade/Entladezeit um 10  $\mu$ s in Schritt 20 nur beispielhaft aufgeführt wurde. Für eine feinere Modellierung, sind durchaus Differenzen von einer La- 20 de/Entladezeit zur nächsten Lade/Entladezeit von 1  $\mu$ s denkbar. Diese erfindungsgemäße Diagnose ist sehr schnell durchführbar, da nur wenige Kolbenhübe ausreichend sind.

Zusammengefasst ermöglicht das erfindungsgemäße Verfahren, 25 dass bei einem bevorzugten, niedrigen Betriebspunkt, bei dem die höchste Empfindlichkeit und Zuverlässigkeit der Laufunruhe-Regelung besteht, die Diagnose der Einspritzmengenunterschiede bzw. der Einspritzmenge selbst erfolgt. An diesem Betriebspunkt erfolgt die Diagnose und Adaption dann auch für 30 Einspritzparameterwerte, die im Fahrbetrieb für andere Betriebspunkte gelten. Es erfolgt am niedrigen Betriebspunkt also sowohl ein Ausgleich der Einspritzmengenunterschiede

zwischen den einzelnen Injektoren als auch eine Kalibrierung der Einspritzmenge auf die zugehörigen, im Diagnosezyklus künstlich eingestellten Werte des ausgewählten Einspritzparameters, wobei eine unerwünschte Bewegung des Adaptions-

- 5 Betriebspunktes durch die gegenläufige Einstellung anderer Einspritzparameterwerte verhindert bzw. begrenzt wird. Bevorzugt ist eine Einspritzmengengleichstellung durch Energiergelung des Injektor-Ansteuerparameters in Abhängigkeit, insbesondere, vom Einspritzparameter Druck.

10

Optional ist es an dem eingestellten Betriebspunkt auf Grund der Kenntnis des Motorbetriebszustandes (Temperatur von Kühlmittel, aktive Verbraucher) möglich, aus dem Drehmomentenmodell den Absolutwert der Einspritzmenge herauszulesen und et-

- 15 wa für die exakte Kalibrierung des Kennfeldes Einspritzmenge/Einspritzzeitdauer zu verwenden.

**Patentansprüche**

1. Verfahren zur Gleichstellung der Unterschiede in der Einspritzmenge zwischen den Zylindern einer Brennkraftmaschine,  
5 bei dem die Einspritzmengenunterschiede, die an einem Betriebspunkt im unteren Drehzahlbereich bei den dort im regulären Fahrbetrieb geltenden Einspritzparameterwerten vorliegen, mittels einer zylinderindividuellen Messmethode zur Erfassung der Laufunruhe der Brennkraftmaschine bestimmt und  
10 dem niedrigen Betriebspunkt zugeordnet werden und bei dem für Betriebsbereiche mit höheren Lasten und Drehzahlen für einen gewählten Einspritzparameter eine Adaption der Einspritzmen- genunterschiede durchgeführt wird,  
dadurch gekennzeichnet,  
15 dass in dem niedrigen Betriebspunkt der gewählte Einspritzpa- rameter zur Adaption (4, 5, 6, 7) auf einen Wert eingestellt wird, der vom dort im regulären Fahrbetrieb geltenden Wert abweicht, und dass für den eingestellten Wert die Einspritz- mengenunterschiede mittels der Messung der Laufunruhe be-  
20 stimmt und als Adoptionswerte gelernt werden, die dem jewei- ligen Einspritzparameterwert zugeordnet werden, wobei während der Adaption (4, 5, 6, 7) die Dynamik des mit dem jeweils eingestellten Einspritzparameterwert veränderlichen Betriebspunktes begrenzt wird.
- 25 2. Verfahren nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet, dass zur Begrenzung der Dynamik des niedrigen Betriebspunktes während der Adaption (4, 5, 6, 7) mindestens ein zweiter Einspritzparameter derart eingestellt wird, dass der Betriebspunkt wenigstens näherungsweise stati-  
30 onär bleibt.
3. Verfahren nach Anspruch 2,

dadurch gekennzeichnet, dass bei der Adaption (4, 5, 6, 7) an aufeinander folgend höhere Werte des als Einspritzparameter gewählten Einspritzdruckes zur Begrenzung der Dynamik des niedrigen Betriebspunktes jeweils eine entsprechend kürzere

5 Einspritzzeitdauer eingestellt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 2,

dadurch gekennzeichnet, dass bei der Adaption (4, 5, 6, 7) an

aufeinander folgend niedrigere Werte des als Einspritzparame-

10 ter gewählten Einspritzdruckes zur Begrenzung der Dynamik des niedrigen Betriebspunktes jeweils eine entsprechend längere Einspritzzeitdauer eingestellt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 oder 3, dadurch ge-

15 kennzeichnet, dass der Einspritzdruck schrittweise um einen bestimmten Betrag verändert wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass für die Adaption (4, 5, 6, 7)

20 ein niedriger Betriebspunkt ausgewählt wird, bei dem die höchste Empfindlichkeit und/oder Zuverlässigkeit der Messung der Laufunruhe erreicht wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

25 dadurch gekennzeichnet, dass der niedrige Betriebspunkt im Leerlaufbereich gewählt wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass die gelernten Adaptionswerte zur

30 Berechnung von zylinderindividuellen Korrekturfaktoren dienen, mit denen ein Ansteuerparameter einer Einspritzvorrichtung der Brennkraftmaschine derart beaufschlagt wird, dass eine Gleichstellung der Einspritzmengen erfolgt.

9. Verfahren nach Anspruch 8,  
dadurch gekennzeichnet, dass die Einspritzvorrichtung für jeden Zylinder durch einen Injektor mit piezoelektrischem Aktor  
5 gebildet wird, wobei als Ansteuerparameter die Ansteuerenergie der Aktoren herangezogen wird.
10. Verfahren nach Anspruch 9,  
dadurch gekennzeichnet, dass für eine bestimmte Lade-  
10 /Entladezeit des Injektors die Aktorenergie entsprechend angepasst wird.
11. Verfahren nach Anspruch 10,  
dadurch gekennzeichnet, dass die Lade-/Entladezeit der Haupt-  
15 einspritzung mit einem Anfangswert ( $\tau_0$ ) getakt und schrittweise auf einen Extremwert verändert wird, wobei bei jedem Schritt die Aktorenergie entsprechend angepasst wird.
12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
20 dadurch gekennzeichnet, dass zur Erfassung der Laufunruhe der Brennkraftmaschine die von den zylinderindividuell unterschiedlichen Einspritzmengen verursachte Drehbeschleunigung der Kurbelwelle der Brennkraftmaschine ausgewertet wird.
- 25 13. Verfahren nach Anspruch 12,  
dadurch gekennzeichnet, dass am zur Adaption (4, 5, 6, 7) eingestellten stationären Betriebspunkt bei gleichgestellten Einspritzmengen aus einem gespeicherten Drehmomentenmodell der Brennkraftmaschine der Absolutwert der zugehörigen Einspritzmenge ermittelt wird.  
30

FIG 1

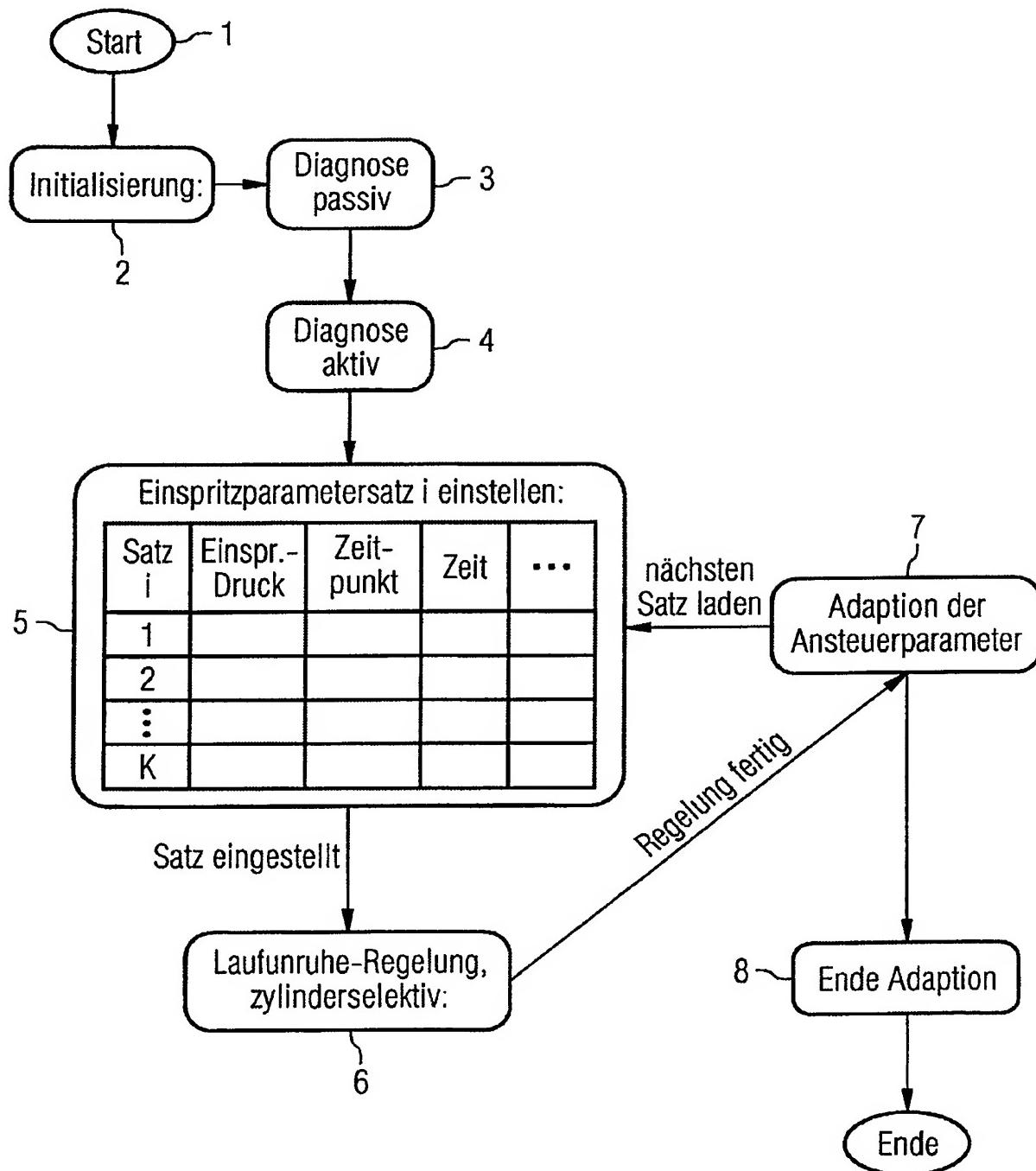


FIG 2

